

# 环境空气质量臭氧自动监测仪器技术探析

何咏

(四川省达州生态环境监测中心站, 四川 达州 635000)

**摘要** 环境空气质量臭氧自动监测仪器技术是一种用于监测和评估大气中臭氧浓度的工具, 监测和评估大气中臭氧浓度的程度, 对于制定有效的环境保护政策以及采取相应的减排措施具有一定的引导作用。本文综述目前臭氧自动监测仪器技术的研究进展, 包括传感器技术、数据处理方法和监测站点布局等方面。通过对不同技术的比较和分析, 旨在为环境监测部门提供参考, 以确保空气质量的有效监测和评估。

**关键词** 环境空气质量; 臭氧自动监测仪器; 自动监测技术

中图分类号: X84

文献标识码: A

文章编号: 2097-3365(2023)10-0058-03

## 1 环境空气质量监测背景

在进行环境质量监测的过程中, 发现环境空气中存在的污染物会对环境中的微生物生存与代谢产生负面影响, 还会威胁社会经济发展及公众的身体健康, 为了改善我国空气质量, 国家先后出台了《大气污染防治行动计划》《打赢蓝天保卫战三年行动计划》等政策, 据调查了解, 2022年, 全国PM<sub>2.5</sub>、PM<sub>10</sub>、NO<sub>2</sub>、SO<sub>2</sub>、CO、O<sub>3</sub>等污染物平均浓度相比之前明显减少, 特别是PM<sub>2.5</sub>平均浓度降低至29g/m<sup>3</sup>, 种种调查结果表明这一防控获得显著成效, 但是臭氧(O<sub>3</sub>)污染依旧呈现出每年逐渐加深的趋势, 臭氧污染防治形式依旧严峻<sup>[1]</sup>。根据研究发现, 臭氧污染呈现出季节性和区域性两个特点, 从季节性角度分析, 全国大多数地区的臭氧浓度整体上呈现出春夏季高(4-9月份)、秋冬季低(10月-次年3月)的特点。

## 2 臭氧自动监测仪器技术介绍

臭氧自动监测仪器是一种用于连续监测和测量环境中臭氧浓度的设备, 通常由以下几个主要部分组成: (1) 采样系统。用于采集环境中的气体样品, 并将其送入后续的分析部分。采样系统可以包括气体进样口、气体流动控制装置和气体过滤装置等。(2) 分析部分。根据所采集的样品, 使用不同的分析技术来测量臭氧浓度, 常见的分析技术包括紫外线吸收法、电化学法、光学法和比色法等。(3) 数据处理和显示。将测量到的臭氧浓度数据进行处理和分析, 并将结果显示在仪器的屏幕上, 有些仪器还可以将数据存储、传输和导出, 以便后续分析和报告<sup>[2]</sup>。(4) 控制和报警系统。监测仪器通常具有控制功能, 可以设置测量参数和报警阈值, 当臭氧浓度超过设定的阈值时, 仪器会发出声音或光信号, 以提醒操作人员采取相应的措施。

## 3 臭氧自动检测仪器测量方法

### 3.1 臭氧监测理论基础

本文在研究过程中, 选择紫外光吸收法对环境控制臭氧浓度进行监测, 应用Beer-Lambert吸收定律作为理论基础, 对此总结臭氧监测公式。

光强变化公式为:

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \exp[-\sigma(\lambda, p, T)CS] \quad \text{公式(1)}$$

其中 $I_0(\lambda)$ 为待测气体尚未进入吸收池之前, 监测仪器测得的出射光强度, 也就是初始光强; $I(\lambda)$ 是一定浓度待测气体进入吸收池后由监测仪器监测到的出射光强度, 也被称为吸收光强; $\lambda$ 为入射光播放, 在公式中主要是波长为 $\lambda$ 的单色光强度; $\sigma(\lambda, p, T)$ 是气体吸收截面( $\text{cm}^2/\text{mole}$ ); $C$ 为待检测气体的浓度; $S$ 为吸收层的厚度。

但是Beer-Lambert吸收定律的应用需要满足一定条件, 而且还会受到光学及化学的影响, 因此需要对这一定律进行修正。瑞利散射和米散射是光在气体中被吸收产生的附加现象, 当入射光的波长大于造成散射的粒子的直径时, 瑞利散射会对测量结果产生影响, 导致消光系数发生变化, 并产生 $\lambda^{-4}$ , 因此散射吸收截面公式为:

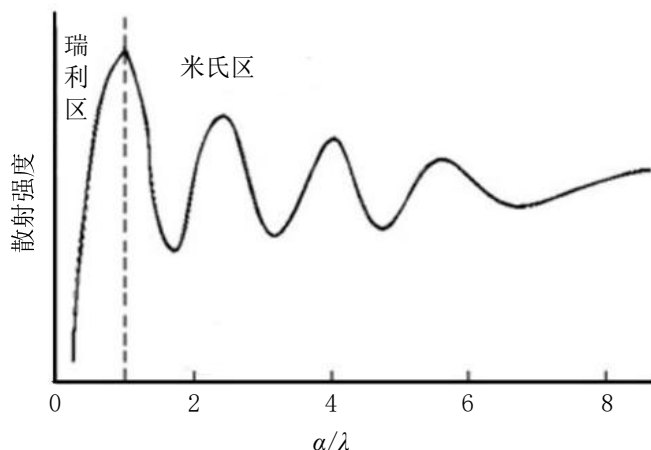
$$\sigma_r(\lambda) = \sigma_{r0} \lambda^{-4} \quad \text{公式(2)}$$

公式中 $\sigma_{r0}$ 代表消光常数, 对于空气, 这个取值为 $4.4 \times 10^{-16} \text{cm}^2 \cdot \text{nm}^4$ 。

对于米散射而言, 主要考虑的是大气中颗粒物的直径与光的波长相等或大于波长的情况。因此, 米散射也具有消光系数, 其影响需要被考虑进测量结果中, 公式为:

$$\epsilon_m(\lambda) = \epsilon_{m0} \lambda^{-n} (1 \leq n \leq 4) \quad \text{公式(3)}$$

如图1所示, 是瑞利散射和米散射两种散射的散

图 1 光谱散射与  $\alpha/\lambda$  的关系

射强度与  $\alpha/\lambda$  关系, 根据此可以修正 Beer-Lambert 吸收定律为:

$$I(\lambda) = I_0(\lambda) \exp[-CS\sigma(\lambda) + \varepsilon_R(\lambda) + \varepsilon_M(\lambda)] \quad \text{公式(4)}$$

监测仪器监测到的两个光强比值为:

$$\ln\left[\frac{I(\lambda)}{I_0(\lambda)}\right] = -CS\sigma(\lambda) + \varepsilon_R(\lambda) + \varepsilon_M(\lambda) \quad \text{公式(5)}$$

定义 D 为气体吸光度:

$$D = \ln\left[\frac{I(\lambda)}{I_0(\lambda)}\right] \quad \text{公式(6)}$$

可以得出:

$$C = \frac{D + \varepsilon_R(\lambda) + \varepsilon_M(\lambda)}{S\sigma(\lambda)} \quad \text{公式(7)}$$

目前研究中发现, 臭氧吸收处于紫外吸收最强的 Hartley 带, 尤其是 250~260nm 波段的吸收截面。实际上, 在对环境空气质量臭氧监测过程中, 紫外光源波长为臭氧吸收截面峰值对应的波长, 采用 250~260nm 波段的光进行浓度测量<sup>[3]</sup>。

### 3.2 臭氧监测理论模型

按照上述分析的定律, 对臭氧自动监测仪器技术进行论述, 其原理示: 紫外光源→气体吸收池→光电探测器→信号处理系统。

### 3.3 臭氧监测仪器测量方法及相关参数

基于上述分析, 在环境空气质量臭氧自动监测仪器技术应用过程中, 采用紫外臭氧分析仪, 可实现连续工作, 体积小, 稳定性好, 且有着较高的精确度, 具备 0/4~20mA 模拟输出, 可以与臭氧发生器、PID 调节器等组成臭氧闭环自动控制系统<sup>[4]</sup>。

### 3.4 试剂及管线

1. 零空气。在测量光强度  $I_0$  时, 需要提供一个零空气样品, 即没有臭氧的空气, 这个零空气样品需要

与产生臭氧所使用的气源一致, 以确保测量的准确性和一致性。

2. 采样管线。为了避免臭氧与采样管线发生化学反应, 采样管线通常采用惰性材料制成, 如玻璃或聚四氟乙烯, 这些材料不会与臭氧发生反应, 从而避免了误差的产生。

3. 颗粒物滤膜。为了确保样品中只包含气态的臭氧, 紫外臭氧分析仪通常会使用颗粒物滤膜来脱除可能影响测量结果的颗粒物。这些滤膜及其支撑物一般由惰性材料制成, 如聚四氟乙烯。滤膜的孔径一般不大于 0.2  $\mu\text{m}$ , 以确保颗粒物能够被有效地滤除。另外, 新的滤膜在使用之前通常需要在工作环境中适应一段时间 (通常为 5~15 分钟), 以确保其与环境达到平衡, 并保证测量的准确性。

## 4 环境空气质量臭氧自动监测仪器技术应用步骤

### 4.1 自动臭氧检测仪器校准

第一, 将仪表和校准系统直接相连, 使得整个系统预热和保持温度 48 小时, 之后再行零点标定, 为确保无环境大气被吸进多支管的排出口, 需控制零压缩空气的流速, 使其能够超出接在输出多支管上校准仪和分析仪的总需求量。接下来, 必须先由校准仪与分析仪一起测量零空气, 并继续检测直至得出最稳定的响应值, 一般情况下时间持续输出控制在 15 分钟左右。完成对零空气的采集之后, 就必须调整校正仪的零点电位器至零, 以保证校正仪的零点正确<sup>[5]</sup>。另外, 还必须调整分析仪的零点电位器, 使分析仪的零点调在距离记录纸量程标度百分之五的水平上, 方便工作人员观测零点的偏移。而在这一过程中, 需要分别记录臭氧校准仪和臭氧分析仪对零空气的稳定响应值,

将这些值作为后续分析和校准的参考数据。为了保证实验的准确性和可靠性,操作时需要严格遵守操作规程,并及时记录实验数据。如果出现任何异常情况,应立即停止操作并进行排查。

第二,对臭氧调节器进行调节,确保其内满量程80%的臭氧浓度。

第三,对分析仪的臭氧测量进行校准,保证80%的满量程。同时,为保证实验的准确性和可靠性,操作时需要严格遵守操作规程,并及时记录实验数据。如果出现任何异常情况,应立即停止操作并进行排查。

第四,对臭氧发生器进行调整,确保其处于满量程标度范围中,并发生3~5个臭氧浓度,对每一个臭氧浓度输出值进行测定并记录。

第五,绘制臭氧分析仪相应值(y)对臭氧浓度(x)最小二乘法的回归曲线,即:

$$y=bx+a \quad \text{公式(8)}$$

式中y为臭氧分析仪响应值;x为臭氧校准仪响应值;b为回归曲线斜率;a为回归曲线截距。a的值<满量程浓度值的1%,b的值在 $1\pm 0.01$ 范围内,相关系数 $r>0.999$ 。

## 4.2 采样

经过校准的紫外臭氧分析仪可用于连续或瞬时采样环境空气,在采样时必须严格按照使用说明书调整参数并将仪器正确安装在适当位置,接通电源,先预热1小时,待仪器稳定之后,连接臭氧采样管线,实施现场测定工作,记录臭氧浓度。

## 4.3 电子操作

### 4.3.1 CPU操作

紫外臭氧分析仪的CPU是仪器的核心控制单元,负责控制和协调各个部件的工作。在电子操作中,可以通过CPU进行测量参数的设置、校准仪器、启动和停止测量过程等操作,通过仪器上的操作界面或按键,用户可以与CPU进行交互,并通过操作指令实现相应的功能。

### 4.3.2 光具座操作

光具座是紫外臭氧分析仪的一个重要组成部分,在电子操作中,需要保证光具座的正确安装和对齐,通常,操作人员需要按照仪器的要求,将待测样品放置在光具座上,确保样品与仪器的光学路径良好对齐,以确保测量结果的准确性。

### 4.3.3 气路传感器板操作

气路传感器板是紫外臭氧分析仪中负责检测气体样品的模块,能够检测限流孔上有待测气体的绝对压力,用于臭氧浓度计算中。在电子操作中,需要确保

气路传感器板的正常工作,包括检查气路通道是否畅通、传感器是否正常工作等,如果发现任何异常情况,需要及时进行检查和修复,以确保测量结果的准确性和可靠性。

### 4.3.4 主板操作

主板是紫外臭氧分析仪的核心电路板,承载着信号处理、数据传输和仪器控制等功能。在电子操作中,主板的操作主要是通过CPU进行控制和监测,操作人员无需直接对主板进行操作,而是通过与CPU的交互来实现相关功能,例如设置测量参数、校准仪器、启动测量过程等。

## 4.4 计算

$$\text{臭氧} = 2.141 \times C$$

其中C为空气中臭氧的浓度(ppm),2.141是臭氧浓度(ppm)换算为标准状态下质量浓度( $\text{mg}/\text{m}^3$ )的换算系数。在一定温度和压力下,可以采取以下换算系数。

(1)  $0^\circ\text{C}$ 、 $101.32\text{kPa}$ 条件:  $1\text{ppm}=2.141\text{mg}/\text{m}^3$ ; (2)  $25^\circ\text{C}$ 、 $101.32\text{kPa}$ 条件:  $1\text{ppm}=1.962\text{mg}/\text{m}^3$ 。

## 5 结语

总之,环境空气质量臭氧自动监测仪器技术的发展对于保障人们的健康和改善环境质量起到了重要作用。随着技术的不断进步,臭氧监测仪器的性能和精度得到显著提高,监测过程也更加自动化和智能化,尽管当前采用的各种监测分析仪器的型号不同,但是大多数都是采用紫外吸收法进行臭氧浓度测量,只要明确臭氧监测理论基础、臭氧监测理论模型、臭氧监测仪器测量方法及相关参数、试剂及管线,进一步研究环境空气质量臭氧自动监测仪器技术应用步骤,从自动臭氧检测仪器校准、采样、电子操作、计算等过程中,确定臭氧浓度。

## 参考文献:

- [1] 廖水仙. 探究环境空气自动监测系统质量管理的实施[J]. 皮革制作与环保科技, 2023,04(08):75-77.
- [2] 董晓倩,王丽,陈舒影. 环境空气污染物中臭氧的监测与防治措施探讨[J]. 皮革制作与环保科技, 2023,4(05):78-80.
- [3] 孟淑华. 空气污染物中臭氧的监测与防治措施分析[J]. 山西化工, 2023,43(02):183-184,189.
- [4] 瞿森,陈传忠,吴坚,等. 细颗粒物和臭氧协同监测现状与建议[J]. 中国环境监测, 2022,38(02):8-12.
- [5] 韩荣敏. 某市臭氧浓度变化特征分析及其污染防治对策[J]. 环境保护与循环经济, 2020,40(12):68-70.